

OHM 科学丛书

电力系统规划与运行

田村康男 编
提兆旭 译
曹长征
李福寿 校

科学出版社

OHM 社

1997

Original Japanese edition

DENRYOKU SHISUTEMU NO KEIKAKU TO UNYOU

Edited by Yasuo Tamura

Copyright © 1991 by Yasuo Tamura

published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd.

and Science Press

Copyright © {year of publication}

All rights reserved.

本书中文版权为科学出版社和 OHM 社所共有

電力システムの計画と運用

田村康男 等 オーム社 1991

图书在版编目(CIP)数据

电力系统规划与运行/(日)田村康男编;提兆旭译。

北京:科学出版社,1997.3

ISBN-7-03-006041-5

I. 电… II. ①田… ②提… III. ①电力系统规划
②电力系统运行 IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 07213 号

科学出版社 OHM 社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1997 年 7 月第 一 版 开本:850×1168 1/32

1997 年 7 月第一次印刷 印张:10 1/8

印数:1—2 000 字数:260 000

定价:24.00 元

执笔者一览

编者	田村康男	早稻田大学	第8章8.1节、8.2节
	笠原利夫	东京电力	第3章3.6节
	加藤哲夫	中部电力	第4章部分
	小泉金之助	东京电力	第5章、第8章8.4节
	佐藤胜雄	东京电力	第6章部分,第8章8.5节
	清水孝真	东京电力	第7章部分
	铃木健司	大井电气	第1章,第3章3.2节
	竹尾聪	中部电力	第4章部分
	田中秀昭	东京电力	第2章,第3章3.1节、3.5节,第8章8.6节
	筑山宗之	东京电力	第7章部分
	原口昂夫	东京电力	第3章3.3节、3.4节
	横山隆一	东京都立大学	第6章部分,第8章8.3节

译者的话

本书是由日本早稻田大学电气工学科教授田村康男先生等专家共同编写的,书中对电力系统规划与运行作了全面而系统地论述,理论结合实际,尤其对计算机在电力系统中的应用方面及电力系统通信技术做了较为详细地介绍,对电力系统综合自动化技术也做了简要介绍,故该书对我国从事电力系统方面研究的工作者了解日本电力系统的技术,具有很好的参考价值。

田村康男教授不仅在日本是著名的电力专家和教授,而且也是国际上该领域的著名专家之一,本人曾在早稻田大学学习期间听过他的课,受益匪浅,他也曾多次来中国讲学。1993年他因过度劳累脑溢血倒在讲台上,永远离开了人世。这对电力事业来说,真是一大损失。该书在中国的翻译出版,表达了译者对他的敬意和纪念之情。

本书的1,2,3章由提兆旭翻译,4,5,6,7,8章由曹长征初译,提兆旭作了仔细校译,最后由李福寿教授对全书作了全面校阅,对此我们表示衷心地感谢。

由于时间紧,水平所限,书中错漏之处在所难免,望读者批评指正。

提兆旭

1996年6月15日

前 言

在生产、输送、消费各个方面,对于生产者与消费者来说,电能都是高度可靠、安全和经济的,因此,它已成为支撑现代社会活动的基础,而且这一趋势将越来越强。通过电力系统规划和运行两者之间的有机结合,就有可能更有效地实现电能的应用。

对在理工大学立志于学习电力工程学的学生们以及在产业界从事电力事业的年轻工程师而言,电力系统规划和运行好像较难理解。这恐怕是由于以下的缘故:对电力系统既要理解硬、软件相互之间的协调和互补的关系,又要了解它的时间的推移过程(长期和短期)和地理伸展情况,还要掌握能量输送及其管理中的信息传递等多种情况。

在这样的专业背景下,本书力求避免平铺直叙、繁琐罗列,以便读者把握全书的脉络。本书特别对计算机在电力系统运行自动化中的应用方面做了详细地论述,还加强了以前这类书籍中少有的电力通信方面的内容。本书第2章之后用到的解析方法,在第6章中作了集中介绍。为了使本书的内容更加充实,在最后一章,简单地介绍了发展迅速的电力系统的最新技术。

但愿本书能为从事电力系统工程学的各位提供一些参考。

本书在执笔过程中,得到了笔者以外许多人的支持,今特向板桥敏雄(东京电力公司电子通信部)、内藤淳一(东京电力公司技术部)及田中晃司(东京电力公司变电建设准备事务所)三位表示由衷地感谢!

田村康男

目 录

1	概论	1
1.1	什么是电力系统	1
1.1.1	电力系统的特性和基本构成	1
1.1.2	系统的发展与提高	1
1.2	规化与运行的关系	3
1.2.1	设备规划的综合性	3
1.2.2	运行与规划的关系	5
1.3	系统的提高及对策	7
1.3.1	系统提高及所带来的问题	7
1.3.2	防止大规模停电对策	9
1.3.3	系统运行的自动化	11
	参考文献	13
2	电力系统的特性	15
2.1	频率特性	15
2.1.1	静特性	15
2.1.2	动特性	16
2.1.3	干扰特性	17
2.1.4	连络线潮流-频率特性	19
2.2	电压特性	21
2.2.1	电压变动的原因和影响	21
2.2.2	电压变化和负荷变化的关系	24
2.2.3	负荷电压特性	26
2.3	三相短路和接地电流	27
2.3.1	对系统的影响	27
2.3.2	和系统容量的关系	28

2.3.3 三相短路电流和接地电流的比较	29
2.4 稳定性	30
2.4.1 稳定性的定义	30
2.4.2 稳定性的分类	31
参考文献	45

3 电力系统规划	47
3.1 什么叫系统规划	47
3.1.1 规划的基本事项	47
3.1.2 制定规划的主要因素	49
3.1.3 规划体系	50
3.1.4 规划的步骤	51
3.2 电力负荷预测	52
3.2.1 长期负荷预测	52
3.2.2 短期负荷预测	56
3.3 电源开发规划	57
3.3.1 电源开发规划概要	57
3.3.2 各种电源的开发规划	58
3.3.3 制定电源开发规划时应注意的事项	66
3.4 电力供求规划	67
3.4.1 电力供求规划概要	67
3.4.2 发电种类与特点	68
3.4.3 供电能力的测算	69
3.4.4 备用容量	73
3.5 输变电设备规划	76
3.5.1 电力系统中输变电设备的作用	76
3.5.2 制定输变电设备规划时的主要注意事项	82
3.6 电力系统继电保护规划	105
3.6.1 电力系统继电保护的作用	105

3.6.2 电力系统继电保护的构成	105
3.6.3 中心点接地的方法	108
3.6.4 继电保护方式的具体应用	109
3.6.5 系统继电保护的发展过程	121
参考文献	127

4 电力系统运行	129
4.1 电力系统运行概要	129
4.1.1 频率控制	130
4.1.2 电压及无功功率控制	132
4.1.3 系统操作	133
4.2 电力供求运行	136
4.2.1 短期负荷预测	136
4.2.2 供电容量计划	139
4.2.3 供求调整与经济运行	141
4.3 系统运行	148
4.3.1 电压、无功功率的调整	148
4.3.2 系统操作	157
4.4 电力调度运行系统	161
4.4.1 电力调度组织	161
4.4.2 调度所的系统信息及其使用	163
4.4.3 调度指令工作	165
4.4.4 设备的综合自动化和调度指令体系	166
4.5 大区管理与相关系统的运行	167
4.5.1 大区管理的目的	167
4.5.2 互联系统	167
4.5.3 大区运营的组织	169
4.5.4 功率交换的种类与内容	170
4.5.5 全国性功率交换的运行	173

4.6 系统运行的趋势	174
参考文献	175
5 系统运行的自动化	177
5.1 自动化的必要性	177
5.1.1 系统运行的演变过程	177
5.1.2 电力调度业务	179
5.2 自动化系统的概要	180
5.2.1 自动化项目与传输信息	180
5.2.2 系统运行自动化系统	182
5.2.3 国外主要电力公司所采用的电力调度自动化系统	187
5.3 向系统的综合自动化发展	190
5.3.1 系统综合控制的意义	190
5.3.2 控制系统的概要	191
5.3.3 综合控制的前景	193
5.4 系统运行训练仿真器	194
5.4.1 仿真的目的	194
5.4.2 仿真器的种类	195
5.4.3 最新的仿真器	196
参考文献	200
6 规划和运行用的解析方法	201
6.1 解析方法概要	201
6.2 静态解析方法	203
6.2.1 潮流计算方法	204
6.2.2 短路容量算法	208
6.2.3 故障电流算法及接地、感应电流算法	210
6.2.4 调相设备规划的计算方法	213

6.2.5 高次谐波预测算法	218
6.3 动态解析方法	220
6.3.1 稳定性解析方法的分类	220
6.3.2 静态稳定性的解析方法	223
6.3.3 暂态稳定性解析方法	228
6.3.4 暂态现象的解析方法	233
参考文献	238

7 电力通信	239
7.1 电力通信的作用	239
7.1.1 电力通信的历史	239
7.1.2 传输信息的种类及其特殊性	241
7.1.3 电力通信网的动向	242
7.1.4 世界各国的动向	242
7.2 电力通信网的构成	243
7.2.1 电力通信网的构成	243
7.2.2 网络的种类	243
7.2.3 电力通信网的逻辑构成	245
7.2.4 今后的电力通信网	250
7.3 主要信息传输设备	251
7.3.1 无线设备	251
7.3.2 载波设备	255
7.3.3 信息传送设备	262
7.3.4 交换设备	269
7.3.5 业务的机械化及 OA 设备	271
7.3.6 用于通信的电源设备	273
7.3.7 其它	275
7.4 电力通信设备的计划与维护运行	278
7.4.1 设备计划	278

7.4.2 设备的维护运行	280
参考文献	282

8 电力系统的未来技术	283
8.1 状态估计	284
8.1.1 电力系统状态估计的功能	284
8.1.2 状态估计的作用	285
8.1.3 状态估计的算法	285
8.1.4 对静态估计进行观测的作用	286
8.2 现代控制理论(状态空间法)	287
8.2.1 庞特利亚金的最大定理	287
8.2.2 现代控制理论	289
8.3 概率潮流计算	292
8.4 自律分散控制	294
8.5 电力系统的专家系统	297
8.6 超导发电机	299
8.6.1 构造	299
8.6.2 在电力系统使用时必须考虑的事项	300
参考文献	302
索引	303

1 概 论

1.1 什么是电力系统

1.1.1 电力系统的特性和基本构成

电力的基本特性就是难以大量地贮存,在供电过程中,生产和消费必须时时刻刻达到平衡,而且消耗电力的用户多种多样,有一般家庭、大楼、工厂等。

电力系统的定义是:为了适应上述电力用户的需要,从发电厂经过电力输送设备(输电线、变电站或配电线),到负荷的各种设备紧密地联系起来的系统。电力系统在其运行中,必须具备必要的保护、控制、监视、通信等设施。

系统的基本构成应能确保各种运行设备所需要的服务水平,而且,在运行中针对时时刻刻变化的用户,最大限度地发挥出设备能力,使整个系统稳定且高效地运行。

1.1.2 系统的发展与提高

随着经济的发展,日本的电力系统经过多次变革达到了高速发展的阶段。现在在系统规模、可靠性、技术水平等方面,可以说是处于世界最高水平。

回顾日本电力系统发展的历程,在早期阶段(大正时代),从发电到用户是一个简单系统。到了昭和年代,为了加强系统间的联系,防止因事故发生而引起的系统瓦解,采用了具有防止事故扩大功能的系统方式,具有代表性的要算东京 66kV 的内环线。

在战后的经济恢复期(1945 年),由于负荷的迅速扩大,系统也扩大,到了 1963 年,电源结构由以前的以水电为主火电为副转

为以火电为主水电为副的阶段。与此同时,电力输送设备也扩大了,1952 年在新北陆干线上第一次采用了 275kV 的超高压输电系统。1955 年超高压系统已成为联系大容量水、火发电厂的主干输电系统。为了增大系统互联能力和短路容量,作为基本对策,加速发展了里侧外环系统。

此后,在 1965 年后半期,由于东京、关西、中部大都市圈的电力公司采用 275kV 系统,产生了系统稳定性问题,所以采用了更高的电压 500kV 送电。

图 1.1 就是一个有代表性的例子。

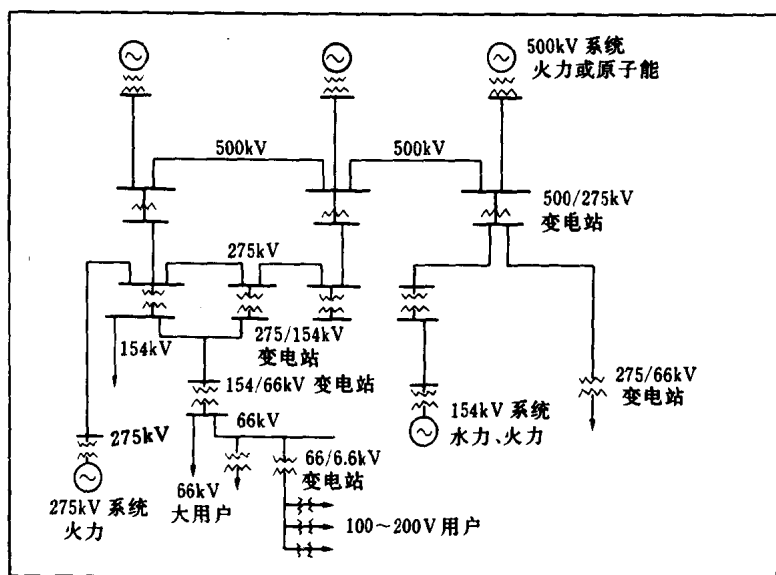
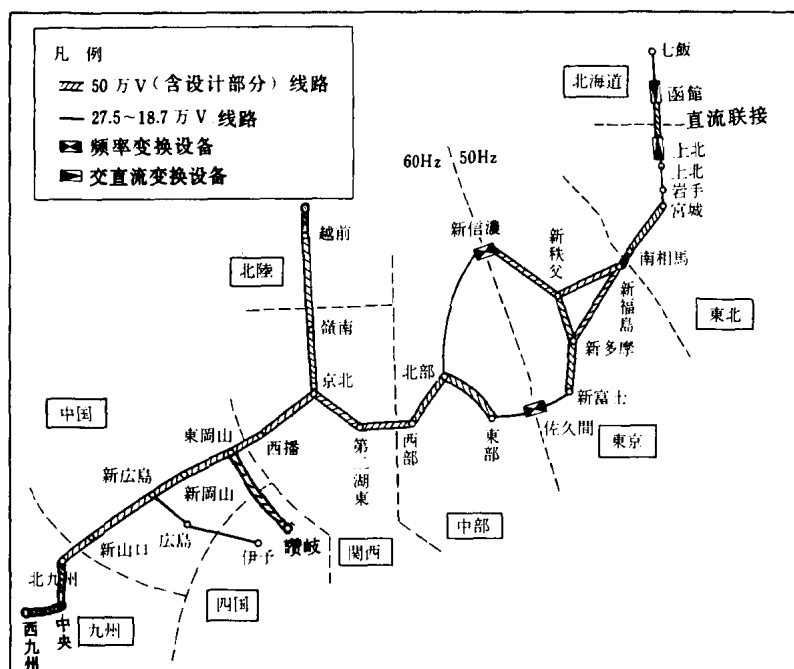


图 1.1 电力系统的基本构成例

日本电力系统总的情况是：东京以北的本州 50Hz 系统和中部以西的 60Hz 系统,在各自的系统内部通过交流直接连接。此时,东京与中部的不同频率交流系统之间,以及北海道和本州(均为 50Hz)之间,分别用直流联系。1979 年北海道-本州直流输电系统完成时形成了从北海道到九州的统一电网。图 1.2 是 1996

年末日本电力系统的状况。



各设备的可靠性,经过周密的技术经济方面的研究之后,最后定为个别计划。当然,此时要最大限度地发挥现有设备的潜力,还要考虑施工、维护的方便。电力系统作为一个整体,在实际运行时,从发电厂到变电站的各种设备的功能能否充分地发挥是极为重要的。也就是说,在设备规划中;各个设备从电力调度可靠性方面要有足够的容量,而且从电力系统固有的各种特性,例如:电压、稳定性、短路和接地电流等方面,也都必须能完全满足要求。因此,设备规划不能简单地只停留在按负荷预测提出设备方案,还必须最大限度地解决实际运行中的问题,从系统整体观点出发,综合地解决与电力设备有关的各种问题。

表 1.1 是从电力调度的安全、质量、经济等方面,对电力系统规划、运行的各种问题的分类表。在设备规划中,要彻底弄清它们之间的关系,充分地弄清问题所处的位置,这是非常重要的。

表 1.1 电力系统规划、运行问题

行波	系统保护、 控制	负荷频率 控制	系统运行	供需运行	电 源 开 发 计 划
避雷装置	继电器	短周期动 特性	长周期动特性	负荷预测	设备规划
异常电压	遮断容量	系统特性	控制机器的种 类、配置、灵敏度	气象预报	长期负荷预 测
磁暴	暂态稳 定性	发电响 应速度		河水流量	技术革新
	运转储 备能力	交直流变 换装置	功率潮流的 切换操作	供电储备能力	国家经济
	负荷遮断	大区运行	静态稳定性	汽轮发电厂的 经济特性	
	系统分离		集中分散 控制方式	起动、停止	
	系统恢复			大区运行	
安全		品质		经济	
←		小	—— 时间常数 ——	大	→

1.2.2 运行与规划的关系

a. 规划和运行

在规划中作为前提条件使用的各因素(负荷、出水率等),一方面要用概率较高的值,另一方面,在讨论按规划装设电力设备的必要性时,其条件应满足概率论的 $(N-1)$ 规则。也就是说,设备一次故障(变电站一个配电间事故、一条线路故障等)时,要想到实际运行中,可能会发生极少见的事故(变电站母线故障、单回路双线故障等),对此,设备也应满足要求。

因此,规划是概率性的,而运行需要考虑极限。表 1.2 是探讨规划与运行的前提条件之一例。

表 1.2 系统规划及运行中探讨前提条件的例子

	规 划	运行
负荷	平均可能发生的最大负荷(最大三天的平均负荷)	最大负荷的最大值(一天中最大的负荷)
调度可靠 性水平	对于平时能想到的设备事故(单一事故)使其不发生停电	就是发生少见的事故(如输电线一个回路发生故障)也应极力不使停电范围扩大
暂态稳定	线路由主继电保护切除三相接地事故时的送电功率	① 讨论是否停止运行时:假设单回输电线停电时,剩下的一回线或母线又发生三相接地事故等多种事故情况下的送电功率[由主继电保护切除事故(70ms)] ② 探讨系统稳定继电保护系统时或者探讨事故种类,在上述设想的事故情况下,主保护继电器不动作,后备继电保护切断(故障切除 340ms)故障时的送电功率

b. 运行实际

电力负荷时时刻刻在变化,而且随着季节、星期的不同,因为气象条件、社会活动的状况等的不同而有很大的不同。与此相应,

电源运行也变化。图 1.3 就是电源一天运行的代表例。另外,系统的构成也会因设备运行的状况、停电作业等发生变化。因此,电力系统日间运行,要考虑负荷、系统等的变化情况,事先要讨论完成日、周、月、年度各种运行方针,并以此为依据加以执行。

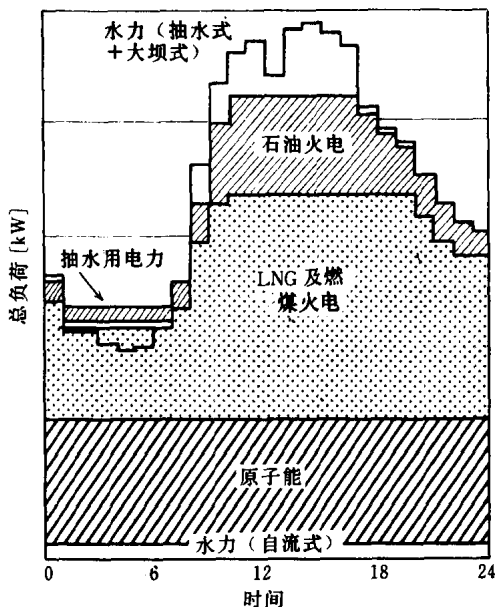


图 1.3 电力负荷日运行曲线

具体而言,要在各个时间断面上,对以下两点边确认边运行:

- 是否确保了与负荷相应的适当运转储备容量。
- 系统结构和电源运行是否是恰当地维持了电压、负荷电流、相间短路、接地电流、稳定性等。

c. 保护、控制系统的作用

正如上面所说,运行中对于一条输电线路双回路同时故障的概率很小,但要避免大规模停电事故的发生,一般而言,按照规划只增加电力设备是不可能解决的。因此,必须利用保护、控制系统进行毫秒级控制,以提高电力系统的可靠性。